



创建世界高水平大学教材

王慧麟
谈俊忠

安 如
马永立

编著

测量 与地图学

(第三版)

Surveying & Cartography

南京大学出版社



创建世界高水平大学教材

王慧麟 安...
谈俊思

测量 与地图学

(第三版)

Surveying & cartography

南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量与地图学 / 王慧麟等编著. — 3 版. — 南京:
南京大学出版社, 2015. 1

创建世界高水平大学教材

ISBN 978-7-305-14748-7

I. ①测… II. ①王… III. ①测量学—高等学校—教材
②地图学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 024066 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
出 版 人 金鑫荣

丛 书 名 创建世界高水平大学教材
书 名 测量与地图学(第三版)
编 著 王慧麟 安 如 谈俊忠 马永立
责任编辑 揭维光 吴 华 编辑热线 025-83686531

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 扬州市江扬印务有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 32 字数 799 千
版 次 2015 年 1 月第 3 版 2015 年 1 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-14748-7
定 价 59.00 元

网址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

第三版前言

测绘是测量和地图制图的简称。测量就是为了获取地球形状、地球重力场、地球上自然和社会经济要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的时空信息。地图制图就是将这些数据信息经处理、分析或综合后加以表达和利用。测量与地图学历史悠久,随着现代计算机、信息技术的发展,其发展十分迅速。

依据 2012 年 9 月我国高等教育专业设置,南京大学对地理学院各专业(理学地理科学类:070501 地理科学、070502 自然地理与资源环境、070503 人文地理与城乡规划、070504 地理信息科学;工学建筑类:082802 城乡规划)的教学计划、课程内容作了相应的调整。《测量与地图学》作为各专业的平台基础课教材,于 2009 年第二版,距今已有 5 年时间。测绘科学及其相关学科发展迅速,信息化水平不断提高,测量与地图进入了数字化和信息化时代,由此我们对教材内容做了进一步修订改版。

GPS 全球定位技术实现了全天候、无障碍、实时、快速动态提供点位、时间、速度等时空信息,给测绘科学带来了一场前所未有的技术革命。随着地面测量仪器的电子化和数字化,测量的精度、速度和自动化水平也不断提高;全站仪、测距仪和电子经纬仪借助于电子手簿,与便携式计算机联结成野外数字测图一体化的测图系统,大大提高了地形测图的精度和速度。数字制图技术的出现,极大地改变了原来的手工地图制图的模式,制图技术、地图出版印刷业都有了质的变化,地图制图工艺流程发生了根本的改变。

为了适应测绘事业的发展和 21 世纪对高科技人才培养的要求,新编第三版《测量与地图学》教材在适度介绍传统测绘手段、测绘学科的基本理论和基本方法的同时,力图突出近年来测绘科学的最新发展。

全书共分三部分。第一部分第一章至第四章,为测量与地图的基本理论,包含地球科学概论、测图的基本知识、测量误差理论基础、地图数学基础、地图语言和地图制图综合;第二部分第五章至第十一章,为测量学基本方法和主要手段,包含了测量的常规内容,高度测量、角度测量与距离测量的基本方法、控制测量、地形图的测绘、摄影测量测图、地籍测量和测设,测绘新技术 GPS 全球定位原理与方法、全野外数字测图等内容;第三部分第十二章至第十五章,主要介绍制图基础理论和地图制图方法,包括地图基础知识、地图设计与编制以及地图分析应用的内容,并为适应计算机制图技术的推广应用对教材的传统内容

进行了相应改革。各章均包括一定数量的复习思考题,便于学生学习。

在编写过程中,我们参阅了许多前人的著作、论文和教材。需要说明的是本书有较多的内容取材于华锡生、田林亚主编的《测量学》,武汉测绘科技大学《测量学》编写组的《测量学》,胡著智、王慧麟、陈钦峦编著的《遥感技术与地学应用》,马永立著的《地图学教程》,李德仁、关泽群著的《空间信息系统的集成与实现》,罗聚胜、杨晓明编著的《地形测量学》,《GPSurvey 软件培训教材》以及解放军信息工程大学《地图学》、《现代测量学》网络课程等众多测绘课程网站与测绘报刊等资料,未及一一列出,请见谅。

第三版书中,我们针对测量与地图学的课程特点,增加了实验部分作为附录。

本版测量学部分绪论、第一章、第五章至第十一章、第十五章及实习指导书由南京大学地理与海洋科学学院王慧麟修订;地图学部分第二章至第四章、第十二章至第十四章由河海大学地球科学与工程学院安如修订。参与这项工作的还有王盈、燕鹏、陈春烨、张杰坦、陈志霞、陆玲、吴红和姚刚等;全书由王慧麟统稿。全书编写过程中得到了南京大学“985 工程——创建世界高水平大学本科教学改革资助项目”的资助,并得到南京大学有关部门大力支持和部分兄弟院校同行的热情帮助,谨此表示感谢。特别感谢南京大学出版社蔡文彬编辑的帮助。

考虑到测绘技术日新月异,编著者水平有限,书中错误遗漏和不当之处,敬请广大读者批评指正。

王慧麟

2014 年 11 月于南京大学昆山楼

目 录

绪 论	1
第一节 测绘科学的研究对象与分类	1
第二节 地图的产品	4
第三节 测绘科学发展概况	6
第四节 测绘科学在国家经济建设和发展中的作用	15
第一章 测量与地图学基础知识	18
第一节 地球的形状和大小	18
第二节 地面点位置的表示方法	20
第三节 用水平面代替水准面的限度	26
第四节 测量工作概述	28
第五节 地图的特性与构成要素	31
第六节 地图的分类与功能	36
第七节 地图成图方法简介	43
第八节 误差与精度的基本知识	45
第二章 地图数学基础	55
第一节 地图投影基本概念	55
第二节 常用地图投影	66
第三节 高斯-克吕格投影及其应用	71
第四节 地图投影判别与选择	77
第五节 我国常用地图投影	80
第六节 GIS 软件中的地图投影功能	81
第七节 地图方位	82
第八节 地图比例尺	86
第九节 地图分幅编号	89
第三章 地图语言	102
第一节 地图符号	102
第二节 地图注记	121
第三节 地图色彩	125

第四章 制图综合	128
第一节 制图综合基本概念	128
第二节 影响制图综合的因素	131
第三节 制图综合的主要方法	134
第四节 地图综合基本规律	140
第五节 地图自动综合	142
第六节 制图综合与地图精度的关系	144
第五章 水准仪与水准测量	146
第一节 水准测量原理	147
第二节 水准测量仪器及其使用	149
第三节 水准路线的拟订	155
第四节 水准测量基本方法	158
第五节 水准仪的检验与校正	162
第六节 水准测量的误差来源及注意事项	166
第七节 数字水准仪测量系统及其应用	169
第六章 经纬仪与角度测量	175
第一节 水平角和竖直角测量原理	175
第二节 光学经纬仪的构造及读数原理	176
第三节 水平角测量	181
第四节 竖直角测量	186
第五节 经纬仪检查和校正	189
第六节 角度测量误差来源及注意事项	193
第七节 电子经纬仪测角原理	194
第七章 距离测量与直线定向	200
第一节 卷尺丈量	200
第二节 视距测量	207
第三节 光电测距	210
第四节 光电测距的成果整理	213
第五节 光电测距的误差来源与分析	214
第六节 地面点标定与直线定向	216
第八章 小区域控制测量方法	220
第一节 控制测量概述	220
第二节 导线测量	223
第三节 交会法测量	231

第四节 三、四等水准测量	236
第五节 三角高程测量	239
第九章 全球定位系统数据采集与处理	243
第一节 全球定位系统 GPS 概述	243
第二节 GPS 定位方法	247
第三节 GPS 数据及其处理	250
第四节 GPS 静态测量的实施	254
第五节 GPS 基线向量网与高程平差	260
第六节 GPS 实时动态(RTK)技术及其应用	267
第七节 GPS 连续运行参考站系统(CORS)简介	272
第十章 地形图的测绘与测设	276
第一节 图解地形测量原理	277
第二节 地形的表示方法	277
第三节 测图前的准备工作	281
第四节 常规地形测图	282
第五节 航空摄影测量成图	295
第六节 地籍测量概论	300
第七节 测设工作概论	309
第十一章 数字地形测图	315
第一节 数字地图及其特点	315
第二节 野外数字测图的特点	320
第三节 数字测图作业模式	324
第四节 全站型电子速测仪简介	326
第五节 数字测图系统及其配置	333
第六节 大比例尺地面数字测图的基本作业过程	335
第七节 碎部点坐标测算	338
第八节 野外数据采集	341
第九节 数字测图内业简介	346
第十二章 普通地图	352
第一节 普通地图基本内容与主要任务	352
第二节 自然地理要素的表示	354
第三节 社会经济要素的表示	366
第四节 辅助要素的表示	376

第十三章 专题地图与地图集	378
第一节 专题地图特征、内容与类型	378
第二节 专题内容表示方法的设计	381
第三节 专题内容表示方法	383
第四节 专题地图的表示方法比较	400
第五节 地图集	404
第十四章 地图编制	410
第一节 地图生产过程概述	410
第二节 地图设计	411
第三节 地图编绘	412
第四节 地图制印出版	414
第五节 专题地图编制	415
第六节 数字地图制图	427
第七节 遥感制图	436
第十五章 地图分析应用	442
第一节 地形图阅读	442
第二节 实地使用地形图	446
第三节 地图评价	449
第四节 地图分析	451
第五节 地图应用	461
附录 实习指导	474
第一部分 课间实习	474
第二部分 集中测量实习	496
参考文献	502

绪论

导 读

测绘是测量和地图制图的简称。测量就是获取反映地球形状、地球重力场、地球上自然和社会要素的位置、形状、空间关系、区域空间结构的数据。地图制图是将这些数据经处理、分析或综合后加以表达和利用的一种形式。

绪论讲述了测绘科学的研究对象与主要任务,测量学与地图学所包含的主要分支学科,随后介绍了地形图的主要产品形式;本章最后对测绘科学的发展史及测绘科学在国民经济中的作用做了详尽介绍。

第一节 测绘科学的研究对象与分类

测量与地图(制图)学统称为测绘学。测量学与地图学是两门彼此密切联系的学科。没有精密的测量就没有精确的地图。

一、测绘科学的研究对象

测绘科学研究对象是地球整体及其表面和外层空间的各种自然和人造物体的有关信息。它研究的内容是对这些与地理空间有关的信息进行采集、处理、管理、更新和利用。测绘科学既要研究测定地面点的几何位置、地球形状、地球重力场,以及地球表面自然形态和人工设施的几何形态;又要结合社会和自然信息的地理分布,研究绘制全球和局部地区各种比例尺的地形图和专题地图的理论和技術。前者和后者构成测绘学。由此可见,测量与地图是测绘科学的重要组成部分。

传统的测绘科学研究对象是地球及其表面,但随着现代科学技术的发展,它已扩展到地球的外层空间,并且已由静态对象发展到观测和研究动态对象;同时,所获得的量既有宏量,也有微量。使用的手段和设备,也已转向自动化、遥测、遥控和数字化。

二、测量与地图学的任务与分类

如前所述,测量学与地图学是现代测绘科学的组成部分。测量学是研究地球的形状、大小以及地球表面各种形态的科学。其任务主要表现为:确定地球的形状和大小;确定地面点的平面位置和高程;将地球表面的起伏状态和其他信息测绘成图。

现代测量学是研究用什么工具和手段,直接或间接地从地球表面获得量度数据或信息,通过怎样的科学处理,确定地面的点位、方向及其相互关系,从而把地球表面的主要现象和

物体正确地表示在平面(地图)上的一门科学。测量学的任务,具体有:① 确定地球的形状和大小;② 确定地面上和空间各点的相对位置或某一坐标系统的统一位置,即把地面上施测区域绘制成图;③ 构筑物放样:将土地及其附属物的开发、利用、建设的设计方案在实地标定,即将各种工程设计测设到现场;④ 变形监测:已有工程或其他设施在一定时期内的变化测量。

地图学是关于地图的科学。地图学的研究对象是地图,探讨地图的实质、地图制作的理论和技术、地图应用的理论和技术三个方面的问题,并由此构成地图学的基本理论。概括起来地图学的任务是:① 研究地图本身及其各要素的表示方法的演变以及今后的发展趋向;② 研究地球椭球体(或球体)表面描写到平面上的理论与方法,研究地图投影的变形规律以及不同投影的转换问题;③ 研究地图的内容与形式的统一,各要素的制图综合,地图的编绘和复制等一系列的理论与技术方法,并尽可能运用当代最新科学技术于地图的生产,以缩短成图周期,提高成图质量和增加新的地图品种;④ 研究地图的使用、量算以及对地图产品的评价问题等。

测量学和地图学都是密切联系生产实际的科学,它们都以如何将地球表面的自然地理和社会经济现象表示成图为己任。但是,前者侧重于实地的测绘工作方面,而后者则侧重于利用测量成果、已成地图以及用其他手段所取得的地面资料或经过处理的信息(数字与图像)进行地图的编纂(编辑与编绘)。根据当前的测绘仪器和方法,实测地形图的最小比例尺一般为1:10万。而那些更小比例尺的地形图或专题地图,大都是根据大比例尺的实测地图、航空像片、卫星像片和其他资料编绘而成。

随着社会生产的发展和科学技术的进步,测量学的发展已经包括以下几个分支学科:大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、海洋大地测量学和地图(制图)学等。以上各个学科既自成系统,分工明确,又互相配合,紧密相连,从而构成了完整的测量学体系。地图学由地图概论、地图投影、地图编制、地图整饰、地图制印、计算机地图制图、遥感制图、地图应用、地图分析等分支学科所组成。地图学现代科学体系框架把地图学分为理论地图学、地图与地理信息工程学、地图应用学三个部分。

现代测量与地图学主要包括以下几个分支学科:

1. 大地测量学(Geodetic Surveying)

研究在地球表面大范围内建立国家大地控制网,精确测定地球形状和大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。随着卫星定位技术的发展,大地测量学不仅为空间科学和军事服务,还将为研究地球的形状、大小以及地表形变和地震预报等提供可靠的资料。

2. 地形测量学(Topography)

研究地球表面较小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。主要研究内容有:图根控制网的建立和地形图的测绘。具体工作有:角度测量、距离测量、高程测量、观测数据的处理和地形测图等。各种比例尺地形图的测绘,为社会发展的规划设计提供了重要的资料,这是本书的重点内容之一。

随着社会和经济的发展,土地地籍测量和房地产测量也得到迅猛发展。

3. 摄影测量与遥感学(Photogrammetry & Remote Sensing)

研究利用摄影像片等手段测定物体的形状、大小及其空间位置的学科。由于摄影像片包含的信息全面细致,现已广泛应用于其他科学领域,根据获取像片方式的不同,又分为地

面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量、水下摄影测量等。

4. 工程测量学(Engineering Survey)

研究各项工程建设勘测规划设计、施工和竣工运营阶段所进行的各种测量工作的学科。它把各种测量理论应用于不同的工程建设,并研究各种测量新技术和新方法。按工作顺序和性质分为:勘测设计阶段的控制测量和地形测量;施工阶段的施工测量和设备安装测量;管理阶段的变形观测和维修养护测量。按工程建设的对象分为:建筑、水利、铁路、公路、桥梁、隧道、矿山、城市和国防等工程测量。

5. 海洋大地测量学(Marine Geodesy)

在海洋范围内建立大地控制网所进行的测量工作。内容有控制测量、水深测量、海洋重力测量、卫星大地测量等。它与大地测量、地图制图、航海学、海洋学、潮汐学、水声物理学、电子技术和遥感技术等有着密切的联系。

6. 地图制图学(地图学)(Cartography)

研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科。根据已测得的成果成图,编制各种基本图和专业地图,完成各种地图的复制和印刷出版。地图学现代科学体系框架把地图学分为理论地图学、地图与地理信息工程学、地图应用学三个部分。

7. 理论地图学(Theoretical Cartography)

地图学现代科学体系的第一个层次,包括基础理论、应用理论和地图学发展历史,对地图工程学、地图应用学起理论指导作用。

8. 地图工程学(Carto Engineering)

也称地图与地理信息工程学,传统意义上也可以叫做地图制图学。地图与地理信息工程学高于技术与工程科学范畴,涉及地图制图工程与地理信息工程,包括模拟方式和数字化方式的地图设计与生产、地图数据库与地理信息系统建立与应用、空间信息可视化与虚拟现实。

9. 地图应用学(Map Using)

地图应用学是地图学科学体系的第三个层次,即地图学的应用层次。其主要内容包括模拟地图、数字地图、电子地图(地图集)的分析和应用,以及地理信息系统的应用等。理论地图学、地图工程学和地图应用学构成了地图学的理论、技术和产品应用的完整体系,地图学作为一门应用科学,它们是缺一不可的。

测绘科学与技术是与生产结合十分密切的科学,测绘科学研究的内容可分为基础测绘、专业测绘、军事测绘和地籍测绘。

1. 基础测绘

基础测绘是指为国民经济和社会发展以及为国家各个部门和各项专业测绘提供基础地理信息而实施测绘的总称。基础测绘必须在全国或局部区域按国家统一规划和统一技术标准进行。

2. 专业测绘

产业部门为保证本部门业务工作所进行的具有专业内容的测绘的总称。专业测绘应采用国家测绘技术标准或者行业测绘技术标准。

3. 军事测绘

具有军事内容或者为军队作战、训练、军事工程、战略准备等而实施的测绘的总称。

4. 地籍测绘

对地块权属界线的界址点坐标进行精确测定,并把地块及其附着物的位置、面积、权属关系和利用状况等要素准确地绘制在图纸上和记录在专门的表册中的测绘工作。地籍测量的成果包括数据集(控制点和界址点坐标等)、地籍图和地籍册。

第二节 地图的产品

传统概念上的地图是按照一定数学法则,用规定的图式符号和颜色,把地球表面的自然现象和社会现象,有选择地缩绘在平面图纸上的图。如普通地图、专题地图、各种比例尺地形图、影像地图、立体地图等。

国家基本地形图即国家基本比例尺地形图,简称国家基本图。它是根据国家颁布的统一测量规范、图式和比例尺系列测绘或编绘而成的地形图,按统一规定的经差和纬差进行分幅,并在国际百万分之一地图分幅编号的基础上,建立各级比例尺地形图的图幅编号系统。它是国家经济建设、国防建设和军队作战的基本用图,也是编制其他地图的基础。各国的地形图比例尺系列不尽一致,我国规定 1:5 000、1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万、1:20 万(现已为 1:25 万)、1:50 万、1:100 万八种比例尺地形图为国家基本比例尺地形图,其测制精度和成图数量质量是衡量一个国家测绘科学技术发展水平的重要标志之一。

2000 年以来,国家测绘地理信息局陆续组织实施了 1:25 万和 1:5 万基础地理信息数据库建设与更新工程,基础地理信息数据极大丰富,现势性大大增强,有效提高了测绘保障能力。截至 2008 年,我国目前已绘制 1:1 万的地形图 179 454 幅,1:5 万地形图有 20 496 幅,1:10 万地形图 7 176 幅,1:25 万地形图有 819 幅,1:50 万地形图有 257 幅;1:100 万地形图有 77 幅。2011 年 8 月 25 日,国务院新闻办举行新闻发布会,国家测绘地理信息局宣布,覆盖中国全部陆地国土范围的 24 182 幅最新的 1:5 万地形图数据及数据库全面完成,其中 2006~2011 年西部 1:5 万地形图空白区测图工程,用 5 年的时间完成了约 200 万平方千米共计 5 032 幅 1:5 万地形图测绘任务。

地形图是普通地图的一种,是按一定比例尺表示地貌、地物平面位置和高程的一种正射投影图。其基本特征是:

(1) 以大地测量成果作为平面和高程的控制基础,并印有经纬网和直角坐标网,能准确表示地形要素的地理位置,便于目标定位和图上量算;

(2) 以地面实地测量、航空摄影测量或根据实测地图编绘而成,内容详细准确;

(3) 有规定的比例尺系列、统一的图式符号,便于识别使用,可以满足国家经济建设和军队作战指挥的不同需要;

(4) 地貌一般用等高线表示,能反映地面的实际高度、起伏状态,具有一定的立体感,能满足图上分析研究地形的需要;

(5) 为保持地形图的现势性,还规定了定期更新。

近年来,随着测绘技术的进步,现代地图及其产品有了明显的变化,已出现缩微地图、数字地图、电子地图、全息像片等新品种。在生产部门,4D 产品(数字高程模型 DEM、数字线

划地图 DLG、数字栅格地图 DRG、数字正射影像图 DOM)已经逐步取代传统意义上的纸质地图。

1. 数字高程模型(Digital Elevation Model,缩写 DEM)

在某一投影平面(如高斯投影平面)上规则格网点的平面坐标(X,Y)及高程(Z)的数据集。DEM的格网间隔应与其高程精度相适配,并形成有规则的格网系列。根据不同的高程精度,可分为不同类型。为完整反映地表形态,还可增加离散高程点数据。如图0-1-1(a)。

2. 数字线划地图(Digital Line Graphic,缩写 DLG)

现有地形图要素的矢量数据集,保存各要素间的空间关系和相关的属性信息,全面地描述地表目标。如图0-1-1(b)。

3. 数字栅格地图(Digital Raster Graphic,缩写 DRG)

现有纸质地形图经计算机处理后得到的栅格数据文件。每一幅地形图在扫描数字化后,经几何纠正,并进行内容更新和数据压缩处理,彩色地形图还应经色彩校正,使每幅图像的色彩基本一致。数字栅格地图在内容上、几何精度和色彩上与国家基本比例尺地形图保持一致。如图0-1-1(c)。

4. 数字正射影像图(Digital Orthophoto Map,缩写 DOM)

利用数字高程模型(DEM)对经扫描处理的数字化航空像片,经过像元投影差改正、镶嵌,按国家基本比例尺地形图图幅范围剪裁生成的数字正射影像数据集。它是同时具有地图几何精度和影像特征的图像,具有精度高、信息丰富、直观真实等优点。如图0-1-1(d)。



(a)



(b)



(c)



(d)

图0-1-1 4D测绘产品

第三节 测绘科学发展概况

一、测绘科学的历史

在人类社会的发展过程中,人们逐步明白自身的生存与发展对时间变易和空间位置存在着依存关系。于是,测绘得以产生和发展,以便“观天道之兆基,察地理之长短”,“敬农时,兴物利”。中国历代朝廷把测绘当成国家要务,以便王者不下堂而知四方,“夫兵主者,必先审知其地图,不失地利”。荆轲刺秦王,“图穷匕首见”是一个典型的历史事件,它从一个侧面说明了测绘的重要性,而地图在春秋战国时就被看作是国宝。据《史记》记载,远在4千年前,大禹治水便使用了规(即圆规)、矩(成直角的曲尺)、准(水准器)、绳四种测量工具,“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道。”夏铸九鼎,每个代表一个州,每个鼎上绘行本州内的山川百物。西周时测绘已被广泛应用于生产、军事、城建等方面。例如西周召公负责测绘了首都洛邑的城建图;地图成了划分疆界、裁决土地纠纷的依据,所谓“地讼,以图正之”。周代地图使用很普遍,管理地图的官员分工很细。现在能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前168年陪葬的古长沙国地图和驻军图,图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。在建成于战国时期、迄今还在发挥巨大效益的都江堰、郑国渠、灵渠大型水利工程中,测绘工作都起了至关重要的作用。1971年出土的用于修建灵渠的石制方位水准仪(即可测方位、又可测水准),就是一个文物证据(实物现保存在广西兴安县)。自秦汉起测绘得到了更加广泛的应用。

中国古代测绘领域人才辈出、成就辉煌:在测时方面,春秋战国时的《四分历》定一年为365.25日,与罗马人采用的儒略历相同,领先于古罗马人500年;宋代杨忠辅编制的《统天历》定一年为365.2425日,领先欧洲人400年。南北朝时祖冲之所测的朔望月为29.530588日,与现今采用的数值只差0.3秒。在古地图制作方面居于当时世界领先水平并保存至今的地图有:1973年长沙马王堆汉墓中出土的《地形图》和《驻军图》;南宋石刻地图《华夷图》和《禹迹图》;清初时的《皇舆全览图》等;在天文大地测量方面,唐代僧一行和南宫说在全国24个点上进行了世界上首次大规模的地理纬度测量工作,并算得子午线 1° 的弧长为132.31 km;元代郭守敬所做的纬度测量范围之广、精度之高前所未有;清初康熙年间,在全国测定了630个点的经纬度,规模之大为世界之最,并规定200里合经线 1° ,这种用经线 1° 的弧长定义长度单位的做法为世界首创。

测绘仪器方面发明众多:在春秋战国时期已发明了指南针;公元前4世纪,我们的祖先就制造了世界上第一台测天仪——浑天仪;西汉张衡创造了世界上第一台地震仪——候风地动仪;宋代苏颂制成集测时、计时、报时于一体的水运仪象台,是11世纪世界上最杰出的天文仪器;元代郭守敬设计制造的简仪,300年后在欧洲才出现类似的仪器。

在测绘理论方面独树一帜:战国时代的先秦诸子百家之一尸子对宇宙下了一个今天看来仍然正确的定义:“四方上下曰宇,古往今来曰宙”;“浑天说”把宇宙与地球的关系比拟为鸡蛋与蛋黄的关系,所谓“浑天如鸡子,地如鸡子中黄”,这已包含有地球为球形的初步概念,并已出现地球在运动的思想;“地有四游”,“地动而人不觉”;问世于公元前的“周髀算经”记载了用“矩”测绘地面点位的原理——“平矩以正绳,偃矩以望高,覆矩以测深,卧矩以知远,

环矩以为圆,合矩以为方”。稍后问世的《九章算术》、《海岛算经》,又大大丰富和发展了测量技术。西晋裴秀(公元224~271年)在《禹贡地域图十八篇·序》提出了著名的“制图六体”：“制图之体有六焉，一曰分率，所以辨广轮之度也；二曰准望，所以正彼此之体也；三曰道里，所以定所由之数也；四曰高下，五曰方邪，六曰迂直，此三者各因地而制宜，所以校夷险之异也。”即制图的六条原则：分率(比例尺)、准望(方位)、道里(距离)、高下(高低变化)、方斜(曲折变化)、迂直(迂回变化)。“制图六体”具有划时代的意义，从此使绘制地图有了坚实的理论基础；他还绘制了《禹贡地域图》十八幅，缩编《天下大图》为《地形方丈图》。南北朝时谢庄创制了《木方丈图》；唐宋时期贾耽和宋代沈括为杰出代表的地图学家，为继承和发展我国地图事业做出了突出的贡献，开创了中国地图学的中兴局面。贾耽(公元730~805年)，唐代著名地理学家和地图学家，主要作品《关中陇右及山南九州等图》和《海内华夷图》，是继裴秀之后我国地图学史上成就最高的杰出人物，其地图作品标志着我国地图学中兴局面的形成。宋代地图学家的代表人物沈括(公元1031~1095年)，于1088年完成了其地图代表作《守令图》(《天下州县图》)，向世人展示了这一时期地图事业的空前兴盛与繁荣。北宋时的《淳化天下图》，南宋时石刻的《华夷图》、《禹迹图》(现保存在西安碑林)、程大昌的《禹贡山川地理图》、李寿朋的《平江图》、《静江府城池图》是宋代碑刻地图及地图制作佳作；元代朱思本绘制了《舆地图》；明代罗洪先绘制了《广舆图》(分幅绘制的地图集)；明代郑和下西洋绘制了《郑和航海图》等。元代郭守敬据修建水利的实践在世界上第一个提出了海拔高程的概念；宋代沈括早欧洲人400年发现了磁偏角。以经纬度测量为基础的近代测绘技术，比中国传统的“记里画方”方法有着更多的优点，清初全国性经纬度地图的测绘是中国地图测绘事业发展的新的飞跃。康熙从平叛和统一国家战争中深识测绘精确地图的重要性，聘请了德国、意大利、法国、葡萄牙等国的传教士采用天文测量和三角测量相结合的方法，进行了全国性的大规模的地理经纬度和全国舆图的测绘。从康熙二十三年(公元1684年)开始，到康熙五十八年(公元1719年)结束，历时35年，测算经纬度630个点，奠定了中国近代地图测绘的基础。康熙五十六年(1717年)在康熙主持下，中西测绘人员通力合作，引进并采用西方先进的天文和三角测绘技术，同时利用了官藏舆图文件及实地采访，经十年努力，制作完成《皇舆全览图》(图0-1-2为局部)，全图共计41幅，借鉴科学技术实测后绘制。它以天文观测为基础，使用三角测量法进而测图，采用了伪圆柱投影，以经纬度制图法绘制；汉、满文标注地名，其中满文用以边疆，汉文用以内地；第一次实测了台湾省地图。在尺度丈量上的全国统一，实地测量地球的子午线弧长等都给清代地图制图充实了依据，提高了制图质量。乾隆二十六年(公元1761年)完成《皇舆西域图志》，次年，在《皇舆全览图》基础上，增加新测绘的资料，编制成《乾隆内府地图》，使我国实测地图最终完成。这个时期，全国各地绘制了大量的专题图，《黄河图》、《山东十七州县运河泉源图》、《避暑山庄全图》、《承德府属金银煤铁等矿全图》、《天下舆图》、《皇朝一统舆地全图》等。清末的《大清会典舆图》是全国性的省区地图集



图0-1-2 《皇舆全览图》(局部)

的编绘,在中国地图发展史上具有极为重要的意义,是中国古代传统制图法向现代制图法转变的标志,其突出表现是:计里画方制图法与经纬网制图法混用,传统的地图符号与现代的地图符号混用。近代,1934年,上海申报馆出版了《中华民国新地图》等。我国历代能绘制出较高水平的地图,是与测量技术的发展有关联的。

世界各国测绘科学主要是从17世纪初开始逐步发展起来的,当时望远镜开始应用于各种测量仪器,1617年三角测量方法开始应用,1683年法国进行了弧度测量,证明地球确是两极略扁的椭球体。此后,世界测绘科学无论在测量理论、测量方法及测绘仪器各方面都有不少创造发明。如德国人高斯于1794年提出了最小二乘法理论,以后又提出了横圆柱投影学说,这些理论经后人改进后至今仍在应用。但这个时期的测绘工作仍然是手工业生产方式,到1899年摄影测量的理论研究得到发展。1903年飞机的发明,促进了航空摄影测量学的发展,从而使测图工作部分地由野外转移到室内,利用仪器描绘成图,相应地减轻了劳动强度,特别有利于高山地区的测绘工作。

传统地图学的形成与建立在三角测量基础上的近代地图测绘是紧密联系的。17世纪后的大规模三角测量与地形图测绘,奠定了近代地图测绘的基础。一方面,与地图学有关的地理学、测量学、印刷学相继成为比较完整的理论学科和技术学科,为地图学的形成与发展提供了外部条件;另一方面,地图学本身在漫长的地图生产过程中积累了丰富的经验,经过不同时期地图制图学家的总结和概括,形成了系统而完整的关于地图制作的技术、方法、工艺和理论。作为地图学分支学科的地图投影、地图设计、地图编制和地图印刷等已趋于稳定。大约在20世纪50年代末和60年代初,地图学作为一门独立的科学已经形成。一般把这以前的地图学称为传统地图学。传统地图学研究的对象是地图制作的理论、技术和工艺。在制图理论方面,地图投影、制图综合、地图内容表示法等是研究的核心;在制作技术方面,主要围绕地图生产过程研究编绘原图制作技术、出版原图制作技术和地图制版印刷技术;在制作工艺方面,主要研究地图生产特别是地图印刷工艺。很明显,传统地图学是以地图制作和地图产品的输出作为自己的目标。传统地图学定义是“制作地图的艺术、科学和技术”(英国地图制图协会,1964年)。传统地图学是20世纪50年代以前地图学成果的积累和科学的总结,又是现代地图学形成与发展的基石和起点。

20世纪中叶,电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等新科学技术得到了快速发展,推动了测绘技术和仪器的变革和进步,测绘仪器发展使测绘技术发生重大的变革。20世纪40年代,自动安平水准仪的问世,标志着水准测量自动化的开端。近年来,数字水准仪的诞生,也使水准测量中的自动记录、自动传输、存储和处理数据成为现实。它和经纬仪一样,也可自动选取目标进行观测。1947年,光波测距仪问世,20世纪60年代激光器作为光源用于电磁波测距,使长期以来艰苦的手工业生产方式的测距工作,发生了根本性的变革,彻底改变了大地测量工作中以测角换算距离的面貌,使测距工作向着自动化方向发展。长测程(可达60 km以上)、高精度(最高达 $0.2\text{ mm}+0.1\text{ ppm}$ (ppm:测距千米数))、小体积的测距仪逐步应用于测绘生产。测角仪器的发展也十分迅速,伴随着电子技术、微处理机技术的广泛应用,经纬仪已使用电子度盘和电子读数,且能自动显示、自动记录,完成了自动化测角的进程,自动测角的电子经纬仪问世,并得到应用。同时,电子经纬仪与测距仪结合,形成了电子速测仪(全站仪),其体积小,重量轻,功能全,自动化程度高,为数字测图开拓了广阔前景。最近又推出了智能经纬仪,连瞄准目标也可自动化,从此将结束测角测距手工业生产